

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

Docket No.: 50212-132

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Tetsufumi TSUZAKI et al.

Serial No.: 09/667,576

Filed: September 22, 2000

For: OPTICAL AMPLIFIER AND OPTICAL AMPLIFICATION METHOD

:
:
:
:
:
:
:
:
:

Group Art Unit: 3662

Examiner: To be assigned



TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT(S)

Honorable Commissioner for Patents and Trademarks
Washington, D. C. 20231

Sir:

At the time the above application was filed, priority was claimed based on the following applications:

Japanese Patent Application No. 11-196251 filed July 9, 1999; and

Japanese Patent Application No. 11-212190 filed July 27, 1999.

A copy of each priority application listed above is enclosed.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner

Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:mcm
Date: December 21, 2000
Facsimile: (202) 756-8087

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 9 年 7 月 9 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 1 年特許願第 1 9 6 2 5 1 号

出 願 人

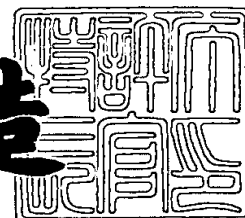
Applicant (s):

住友電気工業株式会社

2 0 0 0 年 1 0 月 6 日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特 2 0 0 0 - 3 0 8 1 9 4 0

【書類名】 特許願

【整理番号】 099Y0195

【提出日】 平成11年 7月 9日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 津崎 哲文

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 西村 正幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 重松 昌行

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9810286

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅器および光増幅器制御方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 励起光により信号光を増幅する光増幅部と、
前記光増幅部に励起光を供給する励起手段と、
前記光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御する出力制御手段と、

信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、前記波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスと、

前記損失の傾斜を制御し、前記光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償する損失傾斜制御手段と

を備えることを特徴とする光増幅器。

【請求項 2】 前記光増幅部の固有の利得波長依存性を等化する利得等化器を更に備えることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 3】 前記損失傾斜制御手段は、前記光増幅部に入力するパワーに基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 4】 前記損失傾斜制御手段は、前記光増幅部における光増幅の利得に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 5】 前記損失傾斜制御手段は、前記光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 6】 前記損失傾斜可変デバイスは、
信号光を導波させる主光路と、

第 1 の光カプラおよび第 2 の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第 1 および前記第 2 の光カプラとともに第 1 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 1 の副光路と、

第 3 の光カプラおよび第 4 の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第 3 および前記第 4 の光カプラとともに第 2 のマッ

ハツェンダ干渉計を構成する第 2 の副光路と、

前記第 1 の光カプラと前記第 2 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 1 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 1 の温度調整手段と

前記第 3 の光カプラと前記第 4 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 2 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 2 の温度調整手段とを備え、

前記損失傾斜制御手段は、前記損失傾斜可変デバイスの前記第 1 および前記第 2 の温度調整手段を制御して前記損失の傾斜を制御する

ことを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 7】 前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の後段に設けられることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 8】 前記光増幅部が複数の区間に区分され、前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の区間と区間との間に設けられることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅器。

【請求項 9】 励起光により信号光を増幅する光増幅部と、前記光増幅部に励起光を供給する励起手段とを備える光増幅器の制御方法であって、

前記光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御するとともに、

信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、前記波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスを用いて、前記損失の傾斜を制御し、前記光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償することを特徴とする光増幅器制御方法。

【請求項 10】 前記光増幅部の固有の利得波長依存性を利得等化器により等化することを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【請求項 11】 前記光増幅部に入力するパワーに基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【請求項 12】 前記光増幅部における光増幅の利得に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【請求項 1 3】 前記光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて前記損失の傾斜を制御することを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【請求項 1 4】 前記損失傾斜可変デバイスは、
信号光を導波させる主光路と、

第 1 の光カプラおよび第 2 の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第 1 および前記第 2 の光カプラとともに第 1 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 1 の副光路と、

第 3 の光カプラおよび第 4 の光カプラそれぞれを介して前記主光路と光結合されて前記主光路ならびに前記第 3 および前記第 4 の光カプラとともに第 2 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 2 の副光路と、

前記第 1 の光カプラと前記第 2 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 1 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 1 の温度調整手段と

前記第 3 の光カプラと前記第 4 の光カプラとの間における前記主光路および前記第 2 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 2 の温度調整手段とを備え、

前記損失傾斜可変デバイスの前記第 1 および前記第 2 の温度調整手段を制御して前記損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜を制御する

ことを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【請求項 1 5】 前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の後段に設けられることを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【請求項 1 6】 前記光増幅部が複数の区間に区分され、前記損失傾斜可変デバイスが前記光増幅部の区間と区間との間に設けられることを特徴とする請求項 9 記載の光増幅器制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、多波長の信号光を一括して光増幅することができる光増幅器、およ

び、この光増幅器の制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

光増幅器は、励起光により励起可能な蛍光物質が添加された信号光を光増幅する光増幅部と、この光増幅部に励起光を供給する励起手段とを含み、光伝送システムにおける中継局などに設けられる。特に、多波長の信号光を伝送する波長多重伝送システムに用いられる光増幅器は、多波長の信号光それぞれを互いに等しい利得で一括光増幅するとともに、多波長の信号光それぞれのパワーを一定の目標値として出力することが重要である。

【0003】

例えば、文献1「K. Inoue, et al., "Tunable Gain Equalization Using a Mach-Zehnder Optical Filter in Multistage Fiber Amplifiers", IEEE Photonics Technology Letters, Vol.3, No.8, pp.718-720 (1991)」には、マッハツェンダ干渉計を用いた光フィルタにより光増幅器の利得平坦化を図る技術が記載されている。また、文献2「S. Kinoshita, et al., "Large Capacity WDM Transmission Based on Wideband Erbium-Doped Fiber Amplifiers", OSA TOPS, Vol.25, pp.258-261 (1998)」には、光増幅器の前段光増幅部と後段光増幅部との間に減衰量可変の光減衰器を挿入して、前段光増幅部に入力する信号光のパワーが変動しても、後段光増幅部に入力する信号光のパワーを光減衰器により一定に保つことにより、光増幅器から出力される信号光のパワーを一定の目標値に保つとともに、光増幅器全体の利得偏差をも一定に保つ技術が記載されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記文献1に記載された技術では、例えば光増幅器の前段の伝送路の損失が何等かの原因により変動して、光増幅器に入力する信号光のパワーが変動したときに、光増幅器から出力される信号光のパワーを一定の目標値に保とうとすると、光増幅器における信号光の光増幅の利得を変化させる必要がある。そして、利得を変化させると、利得の波長依存性すなわち利得傾斜が変動し、その結果、光増幅器の利得平坦性が損なわれ、光増幅器から出力される多波長の

信号光それぞれのパワーが偏差を有することになる。

【0005】

また、上記文献2に記載された技術では、後段光増幅部に入力する信号光のパワーを光減衰器により一定の目標値に保とうとすると、前段光増幅部に入力する信号光のパワーが十分に大きいときに、信号光に大きな減衰を光減衰器により与えることになり、その結果、励起効率が悪くなって、雑音指数が劣化する。

【0006】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、入力信号光パワーが変動しても雑音指数を劣化させることなく出力信号光パワーおよび利得平坦性を維持することができる光増幅器および光増幅器制御方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光増幅器は、(1) 励起光により信号光を増幅する光増幅部と、(2) 光増幅部に励起光を供給する励起手段と、(3) 光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御する出力制御手段と、(4) 信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスと、(5) 損失の傾斜を制御し、光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償する損失傾斜制御手段とを備えることを特徴とする。

【0008】

本発明に係る光増幅器制御方法は、励起光により信号光を増幅する光増幅部と、光増幅部に励起光を供給する励起手段とを備える光増幅器の制御方法であって、光増幅部から出力されるパワーが所定の目標値になるよう制御するとともに、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失傾斜可変デバイスを用いて、損失の傾斜を制御し、光増幅部の波長に対する利得の傾斜を補償することを特徴とする。

【0009】

本発明に係る光増幅器または光増幅器制御方法によれば、光増幅器への入力信号光パワーが変動しても、光増幅器からの出力信号光パワーを所定の目標値に維持することができる。また、入力信号光パワーの変動に因り光増幅部の利得の傾斜が生じることがあっても、損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜を調整することにより、光増幅器全体の利得平坦性を維持することができる。さらに、損失傾斜可変デバイスの損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。

【0010】

また、本発明に係る光増幅器は、光増幅部の固有の利得波長依存性を等化する利得等化器を更に備えることを特徴とする。本発明に係る光増幅器制御方法は、光増幅部の固有の利得波長依存性を利得等化器により等化することを特徴とする。この場合には、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜が補償され、光増幅部の固有の利得波長依存性が等化されるので、光増幅器全体の利得平坦性は優れたものとなる。

【0011】

また、本発明に係る光増幅器では、損失傾斜制御手段は、光増幅部に入力するパワーに基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、光増幅部における光増幅の利得に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、また、光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよい。本発明に係る光増幅器制御方法でも、光増幅部に入力するパワーに基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、光増幅部における光増幅の利得に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよいし、また、光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて損失の傾斜を制御することを特徴とするものであってもよい。これら何れの場合にも、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜を補償して光増幅器全体の利得平坦性を維持する上で好適である。

【0012】

また、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法それぞれでは、損失傾斜

可変デバイスは、(1) 信号光を導波させる主光路と、(2) 第 1 の光カプラおよび第 2 の光カプラそれぞれを介して主光路と光結合されて主光路ならびに第 1 および第 2 の光カプラとともに第 1 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 1 の副光路と、(3) 第 3 の光カプラおよび第 4 の光カプラそれぞれを介して主光路と光結合されて主光路ならびに第 3 および第 4 の光カプラとともに第 2 のマッハツェンダ干渉計を構成する第 2 の副光路と、(4) 第 1 の光カプラと第 2 の光カプラとの間における主光路および第 1 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 1 の温度調整手段と、(5) 第 3 の光カプラと第 4 の光カプラとの間における主光路および第 2 の副光路の双方または何れか一方の温度を調整する第 2 の温度調整手段とを備えるものが好適である。そして、損失傾斜可変デバイスの第 1 および第 2 の温度調整手段を制御して損失の傾斜を制御することを特徴とする。この損失傾斜可変デバイスは、第 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計が縦続接続された構成のものであり、この損失傾斜可変デバイスの全体の損失スペクトルは、第 1 および第 2 の温度調整手段による温度調整により設定された第 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計それぞれの透過スペクトルに応じて定まる。

【0 0 1 3】

また、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法それぞれでは、損失傾斜可変デバイスが光増幅部の後段に設けられるのが好適であり、光増幅部が複数の区間に区分され損失傾斜可変デバイスが光増幅部の区間と区間との間に設けられるのも好適である。損失傾斜可変デバイスが設置される位置が後であるほど雑音指数の劣化が低減され、損失傾斜可変デバイスが設置される位置が前であるほど励起効率がよい。

【0 0 1 4】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0 0 1 5】

(第 1 の実施形態)

先ず、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第 1 の実施形態につい

て説明する。図 1 は、第 1 の実施形態に係る光増幅器 100 の概略構成図である。本実施形態に係る光増幅器 100 は、光入力端 101 から光出力端 102 へ順に、光カプラ 130、前段光増幅部 111、損失傾斜可変デバイス 140 および後段光増幅部 112 が接続されている。また更に、光増幅器 100 は、前段光増幅部 111 へ励起光を供給する励起光源 121、後段光増幅部 112 へ励起光を供給する励起光源 122、および、損失傾斜可変デバイス 140 の損失スペクトルを制御する制御回路 150 を備える。

【0016】

光カプラ 130 は、光入力端 101 から到達した光の一部を分岐して制御回路 150 へ向けて出力し、残部を前段光増幅部 111 へ向けて出力する。前段光増幅部 111 は、励起光源 121 により励起光を供給され、光カプラ 130 から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス 140 は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有している。後段光増幅部 112 は、励起光源 122 により励起光を供給され、損失傾斜可変デバイス 140 から到達した信号光を一括光増幅して、光出力端 102 へ出力する。

【0017】

制御回路 150 は、光カプラ 130 により分岐された信号光のパワーを検出する。そして、制御回路 150 は、その入力信号光パワーに基づいて、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源 121 および 122 それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路 150 は、その入力信号光パワーに基づいて、損失傾斜可変デバイス 140 の損失傾斜を制御する。

【0018】

図 2 は、前段光増幅部 111 および励起光源 121 の説明図である。前段光増幅部 111 は、増幅用光ファイバ 113、光カプラ 114、光アイソレータ 115 および 116 を含む。光カプラ 114 は、励起光源 121 から出力された励起光を増幅用光ファイバ 113 へ導入するとともに、増幅用光ファイバ 113 から出力された信号光を通過させる。光アイソレータ 115 および 116 それぞれは、順方向へ光を通過させるが、逆方向へは光を通過させない。

【0019】

また、増幅用光ファイバ 113 は、励起光源 121 から出力された励起光により励起可能な蛍光物質が添加された信号光を光増幅する光導波路である。添加される蛍光物質は、好適には希土類元素であり、より好適には Er 元素である。Er 元素が添加される場合、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の信号光を光増幅することができるので好適である。また、このとき、励起光源 121 から出力され増幅用光ファイバ 113 へ供給される励起光の波長は $1.48\mu\text{m}$ または $0.98\mu\text{m}$ が好適である。後段光増幅部 112 および励起光源 122 も同様の構成である。

【0020】

次に、損失傾斜可変デバイス 140 の好適な 1 実施例について説明する。図 3 は、損失傾斜可変デバイス 140 の説明図である。この損失傾斜可変デバイス 140 は、例えば石英からなる基板 10 上に形成された平面光導波路回路であって、主光路 20、第 1 の副光路 21、第 2 の副光路 22、第 1 の温度調整手段としてのヒータ 51、および、第 2 の温度調整手段としてのヒータ 53 を備えている。

【0021】

主光路 20 は、基板 10 の一方の端面にある光入力端 11 に入射した光を、第 1 のカプラ 31、第 2 のカプラ 32、第 3 のカプラ 33 および第 4 のカプラ 34 を順次を経て、基板 10 の他方の端面にある光出力端 12 まで導波させて、その光出力端 12 から光を出射させる。主光路 20 と第 1 の副光路 21 とは、第 1 の光カプラ 31 および第 2 の光カプラ 32 それぞれを介して互いに光結合されている。そして、主光路 20、第 1 の副光路 21、第 1 の光カプラ 31 および第 2 の光カプラ 32 は第 1 のマッハツェンダ干渉計 41 を構成している。主光路 20 と第 2 の副光路 22 とは、第 3 の光カプラ 33 および第 4 の光カプラ 34 それぞれを介して互いに光結合されている。そして、主光路 20、第 2 の副光路 22、第 3 の光カプラ 33 および第 4 の光カプラ 34 は第 2 のマッハツェンダ干渉計 42 を構成している。

【0022】

ヒータ 51 は、第 1 の光カプラ 31 と第 2 の光カプラ 33 との間における主光

路 20 上に設けられている。このヒータ 51 は、主光路 20 の温度を調整することにより、第 1 のマッハツェンダ干渉計 41 における主光路 20 と第 1 の副光路 21 との光路長差を調整して、第 1 のマッハツェンダ干渉計 41 の透過特性を調整する。また、ヒータ 53 は、第 3 の光カプラ 33 と第 4 の光カプラ 34 との間における第 2 の副光路 22 上に設けられている。このヒータ 53 は、第 2 の副光路 22 の温度を調整することにより、第 2 のマッハツェンダ干渉計 42 における主光路 20 と第 2 の副光路 22 との光路長差を調整して、第 2 のマッハツェンダ干渉計 42 の透過特性を調整する。これらヒータ 51 および 53 は制御回路 150 により制御される。

【0023】

なお、第 1 の光カプラ 31 と第 2 の光カプラ 33 との間における第 1 の副光路 21 上や、第 3 の光カプラ 33 と第 4 の光カプラ 34 との間における主光路 20 上にもヒータを設けてもよい。また、ヒータに替えてペルチエ素子を設けてもよい。

【0024】

この損失傾斜可変デバイス 140 では、光入力端 11 に入力し主光路 20 を経て光出力端 12 から出力される光に対する損失スペクトルは、光カプラ 31 および 32 による主光路 20 と第 1 の副光路 21 との間の光結合に基づく第 1 のマッハツェンダ干渉計 41 の透過特性、および、光カプラ 33 および 34 による主光路 20 と第 2 の副光路 22 との間の光結合に基づく第 2 のマッハツェンダ干渉計 42 の透過特性により定まる。この損失傾斜可変デバイス 140 は、基板 10 上に集積化されて小型である点で好適であり、また、挿入損失が小さい点でも好適である。

【0025】

次に、第 1 の実施形態に係る光増幅器 100 の動作を説明するとともに、第 1 の実施形態に係る光増幅器制御方法を説明する。図 4 は、第 1 の実施形態に係る光増幅器 100 の動作を説明する図である。損失傾斜可変デバイス 140 の損失スペクトル（図 4（a））は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である。そし

て、その損失傾斜は、入力信号光パワーをモニタする制御回路 1 5 0 により制御される。

【0 0 2 6】

入力信号光パワーが所定値であり、前段光増幅部 1 1 1 および後段光増幅部 1 1 2 における信号光の光増幅の利得が波長に依らず略一定である場合（図 4（b））、これに対して入力信号光パワーが所定値より小さくなったときには、前段光増幅部 1 1 1 および後段光増幅部 1 1 2 における信号光の光増幅の利得は、制御回路 1 5 0 により制御されて大きくなり、その結果、波長が長いほど利得が小さくなり、利得傾斜が生じる（図 4（c））。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 の損失傾斜は制御回路 1 5 0 により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。したがって、前段光増幅部 1 1 1 および後段光増幅部 1 1 2 の利得傾斜が損失傾斜可変デバイス 1 4 0 の損失傾斜により相殺されて、その結果、光増幅器 1 0 0 全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる（図 4（d））。

【0 0 2 7】

以上のように、本実施形態では、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器 1 0 0 全体の利得平坦性を維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 は、後段光増幅部 1 1 2 の後段にあってもよい。

【0 0 2 8】

（第 2 の実施形態）

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第 2 の実施形態について説明する。図 5 は、第 2 の実施形態に係る光増幅器 2 0 0 の概略構成図である。なお、この図には、光増幅器 2 0 0 の前段に設けられる光増幅器 2 0 0 A も示されている。本実施形態に係る光増幅器 2 0 0 は、光入力端 2 0 1 から光出力端 2 0 2 へ順に、光カプラ 2 3 0、前段光増幅部 2 1 1、損失傾斜可変デバイス 2 4 0 および後段光増幅部 2 1 2 が接続されている。また更に、光増幅器 2 0 0 は

、前段光増幅部 211 へ励起光を供給する励起光源 221、後段光増幅部 212 へ励起光を供給する励起光源 222、および、損失傾斜可変デバイス 240 の損失スペクトルを制御する制御回路 250 を備える。

【0029】

光カプラ 230 は、光入力端 201 から到達した光の一部を分岐して制御回路 250 へ向けて出力し、残部を前段光増幅部 211 へ向けて出力する。前段光増幅部 211 は、励起光源 221 により励起光を供給され、光カプラ 230 から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス 240 は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有している。後段光増幅部 212 は、励起光源 222 により励起光を供給され、損失傾斜可変デバイス 240 から到達した信号光を一括光増幅して、光出力端 202 へ出力する。

【0030】

制御回路 250 は、光カプラ 230 により分岐された入力信号光のパワーを検出するとともに、前段の光増幅器 200A から送信されてきた前段の光増幅器 200A の出力信号光パワーに関する情報を入力する。そして、制御回路 250 は、前段の光増幅器 200A の出力信号光パワーおよび自己の入力信号光パワーに基づいて必要利得を算出し、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源 221 および 222 それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路 250 は、その必要利得に基づいて、損失傾斜可変デバイス 240 の損失傾斜を制御する。

【0031】

前段光増幅部 211 および後段光増幅部 212 それぞれの構成は、図 2 で説明したものと同様である。損失傾斜可変デバイス 240 の構成は、図 3 で説明したものと同様である。また、本実施形態に係る光増幅器 200 の動作および光増幅器制御方法は、図 4 で説明したものと略同様である。ただし、本実施形態では、損失傾斜可変デバイス 240 の損失傾斜は、必要利得をモニタする制御回路 250 により制御される。そして、もし、必要利得が大きくなると、前段光増幅部 211 および後段光増幅部 212 における信号光の光増幅の利得は、波長が長いほ

ど小さくなり、利得傾斜が生じる。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス 240 の損失傾斜は、制御回路 250 により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。したがって、前段光増幅部 211 および後段光増幅部 212 の利得傾斜が損失傾斜可変デバイス 240 の損失傾斜により相殺されて、その結果、光増幅器 200 全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる。

【0032】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器 200 全体の利得平坦性を維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス 240 の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス 240 は、後段光増幅部 212 の後段にあってもよい。

【0033】

(第3の実施形態)

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第3の実施形態について説明する。図6は、第3の実施形態に係る光増幅器 300 の概略構成図である。本実施形態に係る光増幅器 300 は、光入力端 301 から光出力端 302 へ順に、光カプラ 331、前段光増幅部 311、後段光増幅部 312、損失傾斜可変デバイス 340 および光カプラ 332 が接続されている。また更に、光増幅器 300 は、前段光増幅部 311 へ励起光を供給する励起光源 321、後段光増幅部 312 へ励起光を供給する励起光源 322、および、損失傾斜可変デバイス 340 の損失スペクトルを制御する制御回路 350 を備える。

【0034】

光カプラ 331 は、光入力端 301 から到達した光の一部を分岐して制御回路 350 へ向けて出力し、残部を前段光増幅部 311 へ向けて出力する。前段光増幅部 311 は、励起光源 321 により励起光を供給され、光カプラ 331 から到達した信号光を一括光増幅して出力する。後段光増幅部 312 は、励起光源 322 により励起光を供給され、前段光増幅部 311 から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス 340 は、信号光の波長帯域中の所定波

長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有しており、後段光増幅部 3 1 2 から到達した信号光に損失を与える。光カプラ 3 3 2 は、損失傾斜可変デバイス 3 4 0 から到達した光の一部を分岐して制御回路 3 5 0 へ向けて出力し、残部を光出力端 3 0 2 へ出力する。

【 0 0 3 5 】

制御回路 3 5 0 は、光カプラ 3 3 1 により分岐された入力信号光のパワーを検出するとともに、光カプラ 3 3 2 により分岐された出力信号光のパワーを検出する。そして、制御回路 3 5 0 は、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源 3 2 1 および 3 2 2 それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路 3 5 0 は、出力信号光パワーおよび入力信号光パワーに基づいて利得を算出し、その利得に基づいて、損失傾斜可変デバイス 3 4 0 の損失傾斜を制御する。

【 0 0 3 6 】

前段光増幅部 3 1 1 および後段光増幅部 3 1 2 それぞれの構成は、図 2 で説明したものと同様である。損失傾斜可変デバイス 3 4 0 の構成は、図 3 で説明したものと同様である。また、本実施形態に係る光増幅器 3 0 0 の動作および光増幅器制御方法は、図 4 で説明したものと略同様である。ただし、本実施形態では、損失傾斜可変デバイス 3 4 0 の損失傾斜は、利得を算出する制御回路 3 5 0 により制御される。そして、もし、利得が大きくなると、前段光増幅部 3 1 1 および後段光増幅部 3 1 2 における信号光の光増幅の利得は、波長が長いほど小さくなり、利得傾斜が生じる。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス 3 4 0 の損失傾斜は、制御回路 3 5 0 により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。したがって、前段光増幅部 3 1 1 および後段光増幅部 3 1 2 の利得傾斜が損失傾斜可変デバイス 3 4 0 の損失傾斜により相殺されて、その結果、光増幅器 3 0 0 全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる。

【 0 0 3 7 】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器 3 0 0 全体の利得平坦性を

維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス 340 の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス 340 は、前段光増幅部 311 と後段光増幅部 312 との間にあってもよい。

【0038】

(第4の実施形態)

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第4の実施形態について説明する。図7は、第4の実施形態に係る光増幅器 400 の概略構成図である。実施形態に係る光増幅器 400 は、光入力端 401 から光出力端 402 へ順に、前段光増幅部 411、後段光増幅部 412 および損失傾斜可変デバイス 440 が接続されている。また更に、光増幅器 400 は、前段光増幅部 411 へ励起光を供給する励起光源 421、後段光増幅部 412 へ励起光を供給する励起光源 422、光出力端 402 から出力される各波長の信号光のパワーをモニタするスペクトルモニタデバイス 460、および、損失傾斜可変デバイス 440 の損失スペクトルを制御する制御回路 450 を備える。

【0039】

前段光増幅部 411 は、励起光源 421 により励起光を供給され、光入力端 401 から到達した信号光を一括光増幅して出力する。後段光増幅部 412 は、励起光源 422 により励起光を供給され、前段光増幅部 411 から到達した信号光を一括光増幅して出力する。損失傾斜可変デバイス 440 は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有しており、後段光増幅部 412 から到達した信号光に損失を与える。

【0040】

スペクトルモニタデバイス 460 は、光出力端 402 から出力される光の一部を分岐した後に分波し、或いは、図3に示した構造を有する損失傾斜可変デバイス 440 の第2の副光路 22 から出力される光を分波する。このスペクトルモニタデバイス 460 は、例えばアレイ導波路回折格子 (AWG: Arrayed-Waveguide Grating) により実現することができ、この場合には、図3に示した構造を有

する損失傾斜可変デバイス 440 とともに共通の基板上に形成することができるの小型化が可能である。

【0041】

制御回路 450 は、スペクトルモニタデバイス 460 により分波された各波長の出力信号光のパワーを検出する。そして、制御回路 450 は、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源 421 および 422 それぞれから出力される励起光のパワーを制御する。また、制御回路 450 は、各波長の出力信号光パワーの偏差に基づいて、その偏差が小さくなるように損失傾斜可変デバイス 440 の損失傾斜を制御する。

【0042】

前段光増幅部 411 および後段光増幅部 412 それぞれの構成は、図 2 で説明したものと同様である。損失傾斜可変デバイス 440 の構成は、図 3 で説明したものと同様である。また、本実施形態に係る光増幅器 400 の動作および光増幅器制御方法は、図 4 で説明したものと略同様である。ただし、本実施形態では、損失傾斜可変デバイス 440 の損失傾斜は、スペクトルモニタデバイス 460 により分波された各波長の出力信号光のパワーの偏差に基づいて制御回路 450 により制御される。

【0043】

次に、損失傾斜可変デバイス 440 およびスペクトルモニタデバイス 460 の好適な 1 実施例について説明する。図 8 は、損失傾斜可変デバイス 440 およびスペクトルモニタデバイス 460 の説明図である。損失傾斜可変デバイス 440 およびスペクトルモニタデバイス 460 は共通の基板 10A 上に形成されている。損失傾斜可変デバイス 440 は、図 3 に示した構成と同様の構成である。スペクトルモニタデバイス 460 は、基板 10A 上に形成された AWG である。すなわち、スペクトルモニタデバイス 460 は、入力側スラブ導波路 61、複数のチャンネル導波路を有するアレイ導波路部 62、出力側スラブ導波路 63 および出力側チャンネル導波路 $64_1 \sim 64_N$ を備える。

【0044】

入力側スラブ導波路 61 は、損失傾斜可変デバイス 440 の第 2 の副光路 22

から出力される光を入力して、その光をアレイ導波路部 62 の各チャネル導波路それぞれへ出力する。アレイ導波路部 62 の複数のチャネル導波路それぞれは、入力側スラブ導波路 61 から出力側スラブ導波路 63 までの光路長が互いに異なり、導波する光に対して互いに異なる位相を与える。出力側スラブ導波路 63 は、アレイ導波路部 62 の複数のチャネル導波路それぞれから光を入力して、出力側チャネル導波路 $64_1 \sim 64_N$ それぞれへ出力する。

【0045】

出力側チャネル導波路 $64_1 \sim 64_N$ それぞれへ出力される光は、損失傾斜可変デバイス 440 の第 2 の副光路 22 から出力された光が分波された各波長の信号光である。そこで、制御回路 450 は、スペクトルモニタデバイス 460 の出力側チャネル導波路 $64_1 \sim 64_N$ それぞれへ出力された各波長の信号光のパワーを検出して、この各波長の信号光パワーの偏差が小さくなるように、損失傾斜可変デバイス 440 の損失傾斜を制御する。なお、制御回路 450 は、スペクトルモニタデバイス 460 により分波された各波長の信号光のうちの 2 波長（例えば最大波長および最小波長）の信号光のパワーの偏差が小さくなるように、損失傾斜可変デバイス 440 の損失傾斜を制御してもよい。

【0046】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器 400 全体の利得平坦性を維持することができる。また、損失傾斜可変デバイス 440 の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。更に、特に本実施形態では、損失傾斜可変デバイス 440 の損失傾斜がフィードバック制御されるので、安定した動作が可能である。

【0047】

（第 5 の実施形態）

次に、本発明に係る光増幅器および光増幅器制御方法の第 5 の実施形態について説明する。図 9 は、第 5 の実施形態に係る光増幅器 500 の概略構成図である。本実施形態に係る光増幅器 500 は、第 1 の実施形態に係る光増幅器 100 において前段光増幅部 111 と損失傾斜可変デバイス 140 との間に利得等化器 1

70を挿入したものである。利得等化器170は、前段光増幅部111および後段光増幅部112の固有の利得波長依存性を等化するものである。この利得等化器170は、例えば、光ファイバのコアに屈折率変調が形成された光ファイバグレーティング素子や、ファブリペロー共振器構造を有するエタロン型フィルタ等により実現することができる。

【0048】

次に、第5の実施形態に係る光増幅器500の動作を説明するとともに、第5の実施形態に係る光増幅器制御方法を説明する。図10は、第5の実施形態に係る光増幅器500の動作を説明する図である。入力信号光パワーが所定値であるときであっても、前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得スペクトルは、厳密には一定とはならず、前段光増幅部111および後段光増幅部112に固有の利得波長依存性を有している（図10（a））。利得等化器170は、このときの前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得スペクトルの形状と同様の形状の損失スペクトルを有している。

【0049】

これに対して入力信号光パワーが所定値より小さくなったときには、前段光増幅部111および後段光増幅部112における信号光の光増幅の利得は、制御回路150により制御されて大きくなり、その結果、波長が長いほど利得が小さくなり利得傾斜が生じ、さらに、その利得傾斜に上記固有の利得波長依存性が重畳されたものとなる（図10（b））。しかし、このときに、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜は制御回路150により制御されて、波長が長いほど損失が小さくなる。

【0050】

前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得傾斜に重畳されていた上記固有の利得波長依存性は、利得等化器170により等化される（図10（c））。そして、前段光増幅部111および後段光増幅部112の利得傾斜は、損失傾斜可変デバイス140の損失傾斜により相殺される。その結果、光増幅器500全体の利得特性は、波長に依らず略一定となる。

【0051】

以上のように、本実施形態でも、入力信号光パワーが変動しても、出力信号光パワーを一定の目標値に維持するとともに、光増幅器 5 0 0 全体の利得平坦性を維持することができる。特に本実施形態では、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 に加えて利得等化器 1 7 0 を設けたことにより、光増幅器 5 0 0 全体の利得平坦性は優れたものとなる。また、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 の損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。なお、本実施形態において、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 および利得等化器 1 7 0 の双方または何れか一方は、後段光増幅部 1 1 2 の後段にあってもよい。

【 0 0 5 2 】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、増幅用光ファイバに添加される蛍光物質は、E r 元素に限られるものではなく、他の希土類元素（例えば、T m 元素、P r 元素、N d 元素等）であってもよい。増幅用光ファイバに替えて、励起光により励起可能な蛍光物質が添加された平面光導波路であってもよい。必ずしも前段光増幅部と後段光増幅部とに区分されていなくてもよい。また、第 2 ～ 第 4 の実施形態に係る光増幅器の何れにも利得等化器を挿入してもよい。

【 0 0 5 3 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、光増幅器への入力信号光パワーが変動しても、光増幅器からの出力信号光パワーを一定の目標値に維持することができる。また、入力信号光パワーの変動に因り光増幅部の利得の傾斜が生じることがあっても、損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜を調整することにより、光増幅器全体の利得平坦性を維持することができる。さらに、損失傾斜可変デバイスの損失が信号光の波長帯域中の所定波長において略一定であるので、雑音指数が劣化することがない。

【 0 0 5 4 】

また、光増幅部の固有の利得波長依存性を利得等化器により等化する場合には、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜が補償され、光増幅部の固有の利得波長依存性が等化されるので、光増幅器全体の利得平坦性は優れたものと

なる。

【 0 0 5 5 】

また、損失傾斜可変デバイスの損失の傾斜は、光増幅部に入力するパワーに基づいて制御してもよいし、光増幅部における光増幅の利得に基づいて制御してもよいし、また、光増幅部から出力される各波長のパワーの偏差に基づいて制御してもよい。これら何れの場合にも、損失傾斜可変デバイスにより光増幅部の利得傾斜を補償して光増幅器全体の利得平坦性を維持する上で好適である。特に、各波長の出力パワーの偏差に基づいて損失傾斜可変デバイスの損失傾斜をフィードバック制御する場合には安定した動作が可能である。

【 0 0 5 6 】

また、損失傾斜可変デバイスは、第 1 および第 2 のマッハツェンダ干渉計が縦続接続された構成のものであって、温度制御により損失の傾斜が制御されるものであるものが好適である。この損失傾斜可変デバイスは、基板上に集積化することで小型化可能であり、また、挿入損失が小さい。さらに、この損失傾斜可変デバイスはスペクトルモニタデバイスとともに基板上に集積化することも可能である。

【 0 0 5 7 】

また、損失傾斜可変デバイスが光増幅部の後段に設けられる場合や、光増幅部が複数の区間に区分され損失傾斜可変デバイスが光増幅部の区間と区間との間に設けられる場合には、雑音指数の劣化が低減される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

第 1 の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図 2】

前段光増幅部および励起光源の説明図である。

【図 3】

損失傾斜可変デバイスの説明図である。

【図 4】

第 1 の実施形態に係る光増幅器の動作を説明する図である。

【図5】

第2の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図6】

第3の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図7】

第4の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図8】

損失傾斜可変デバイスおよびスペクトルモニタデバイスの説明図である。

【図9】

第5の実施形態に係る光増幅器の概略構成図である。

【図10】

第5の実施形態に係る光増幅器の動作を説明する図である。

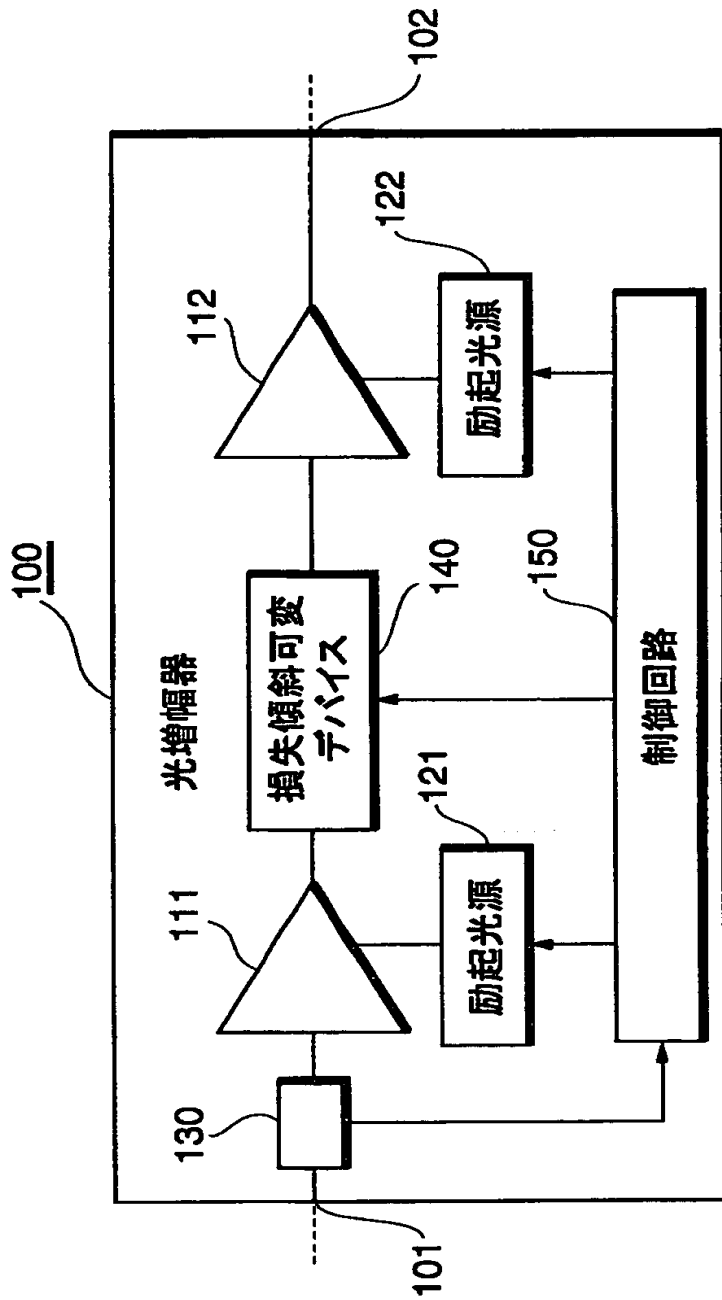
【符号の説明】

100…光増幅器、111…前段光増幅部、112…後段光増幅部、113…増幅用光ファイバ、114…光カプラ、115, 116…光アイソレータ、121, 122…励起光源、130…光カプラ、140…損失傾斜可変デバイス、150…制御回路、170…利得等化器、200…光増幅器、211…前段光増幅部、212…後段光増幅部、221, 222…励起光源、230…光カプラ、240…損失傾斜可変デバイス、250…制御回路、300…光増幅器、311…前段光増幅部、312…後段光増幅部、321, 322…励起光源、331, 332…光カプラ、340…損失傾斜可変デバイス、350…制御回路、400…光増幅器、411…前段光増幅部、412…後段光増幅部、421, 422…励起光源、440…損失傾斜可変デバイス、450…制御回路、460…スペクトルモニタデバイス、500…光増幅器。

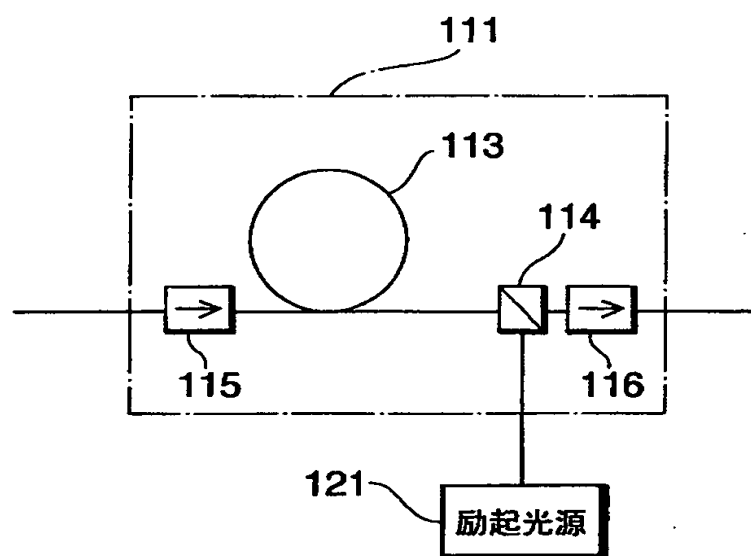
【書類名】

図面

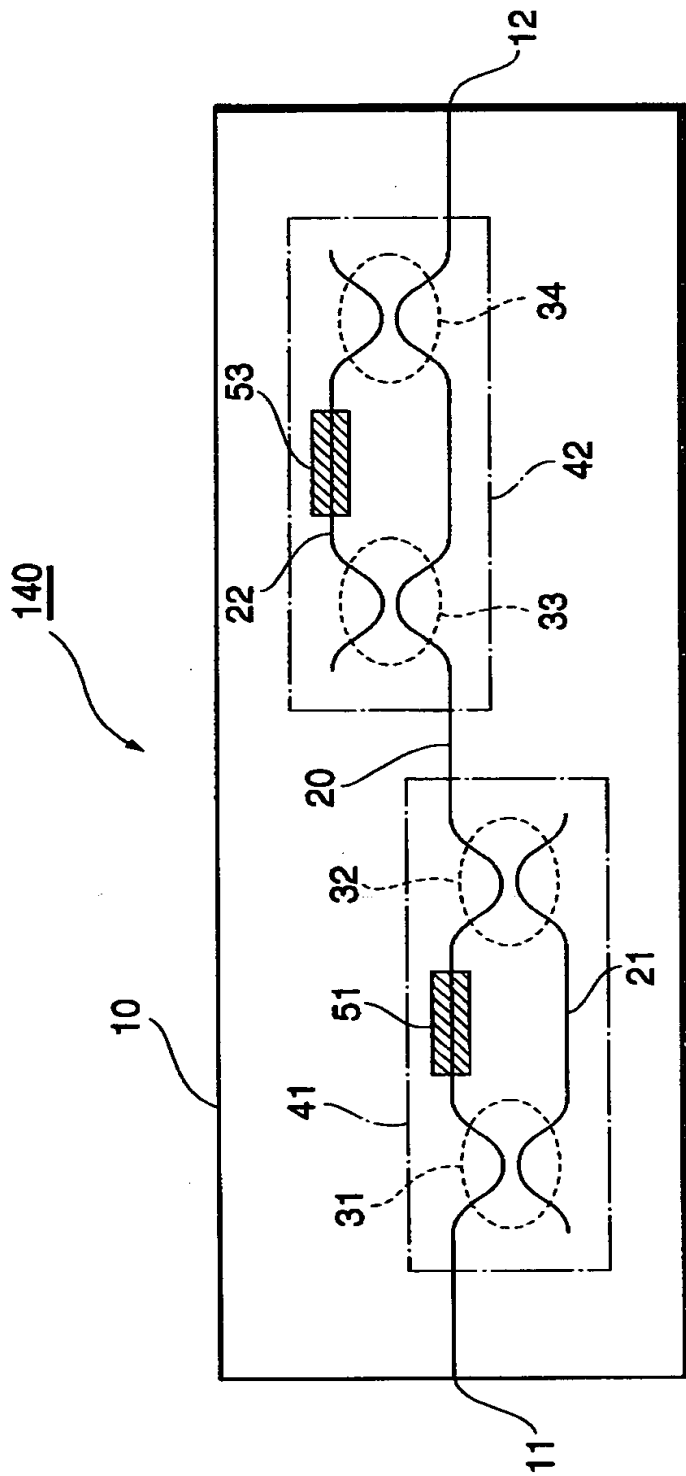
【図 1】



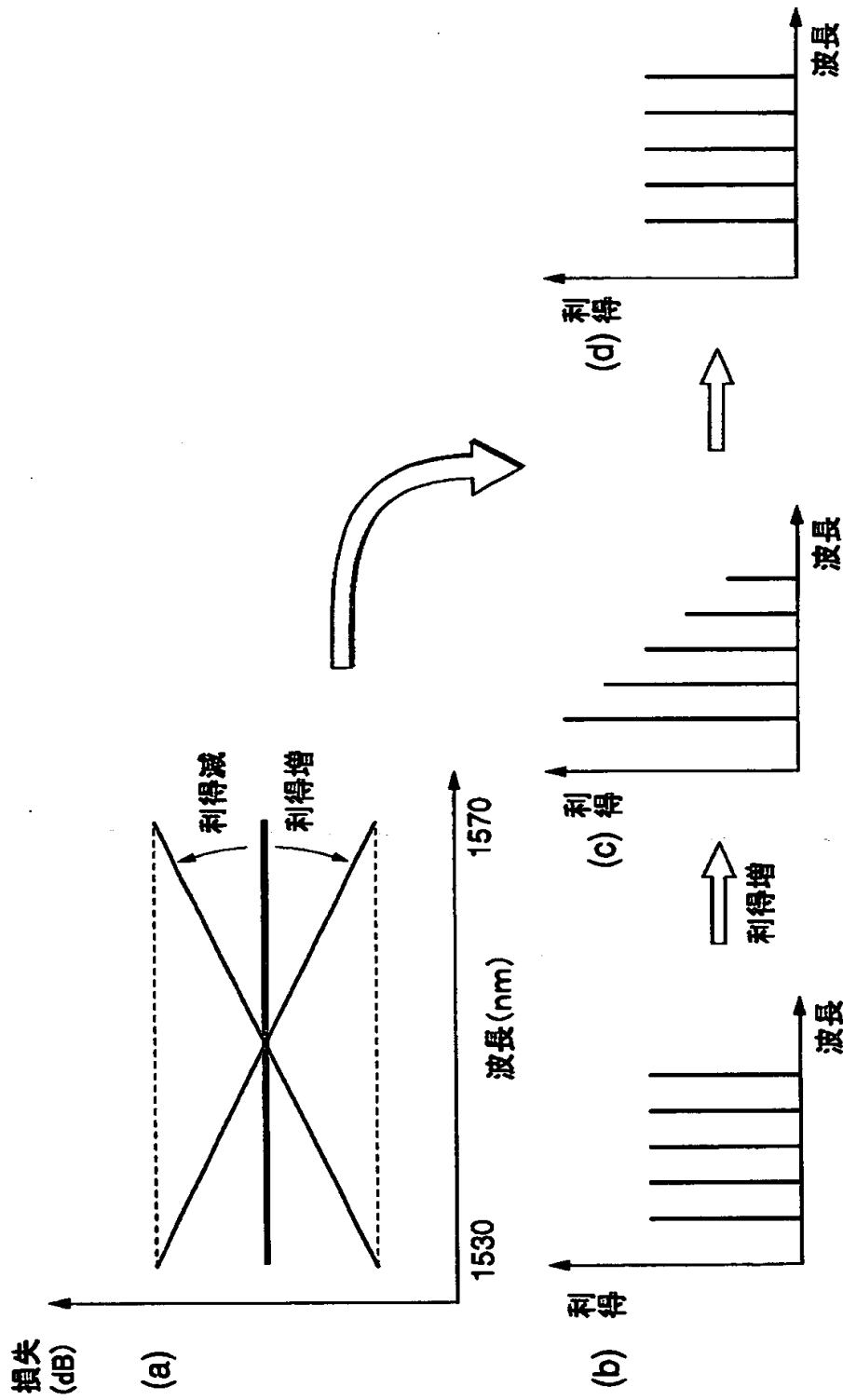
【図 2】



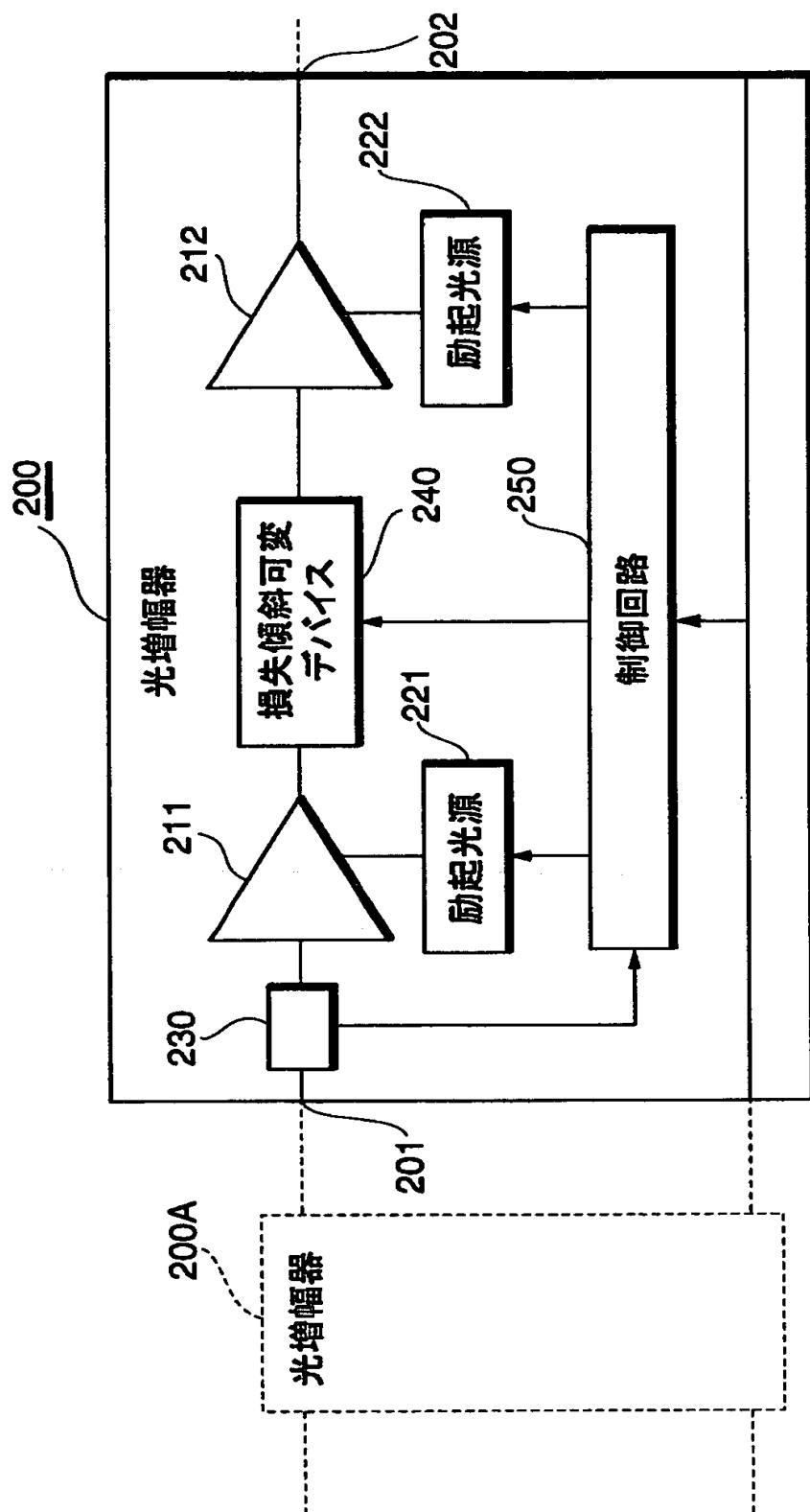
【図 3】



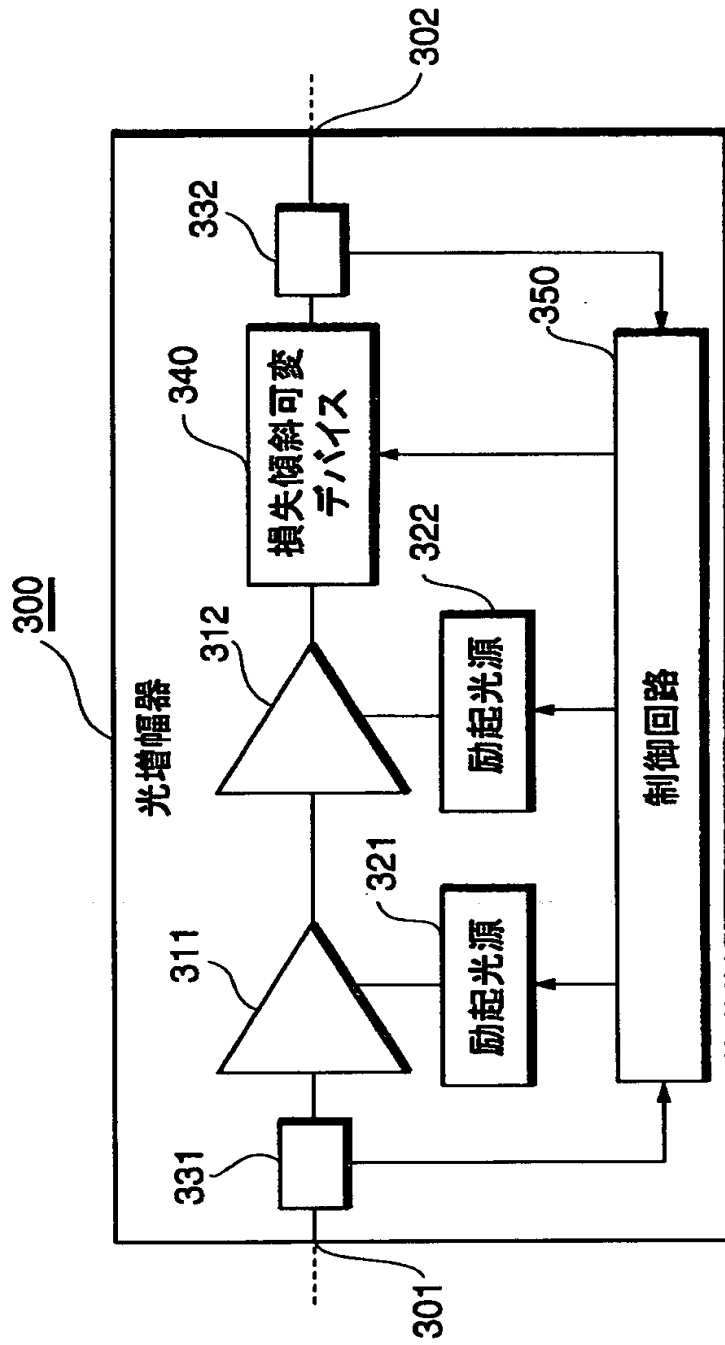
【図 4】



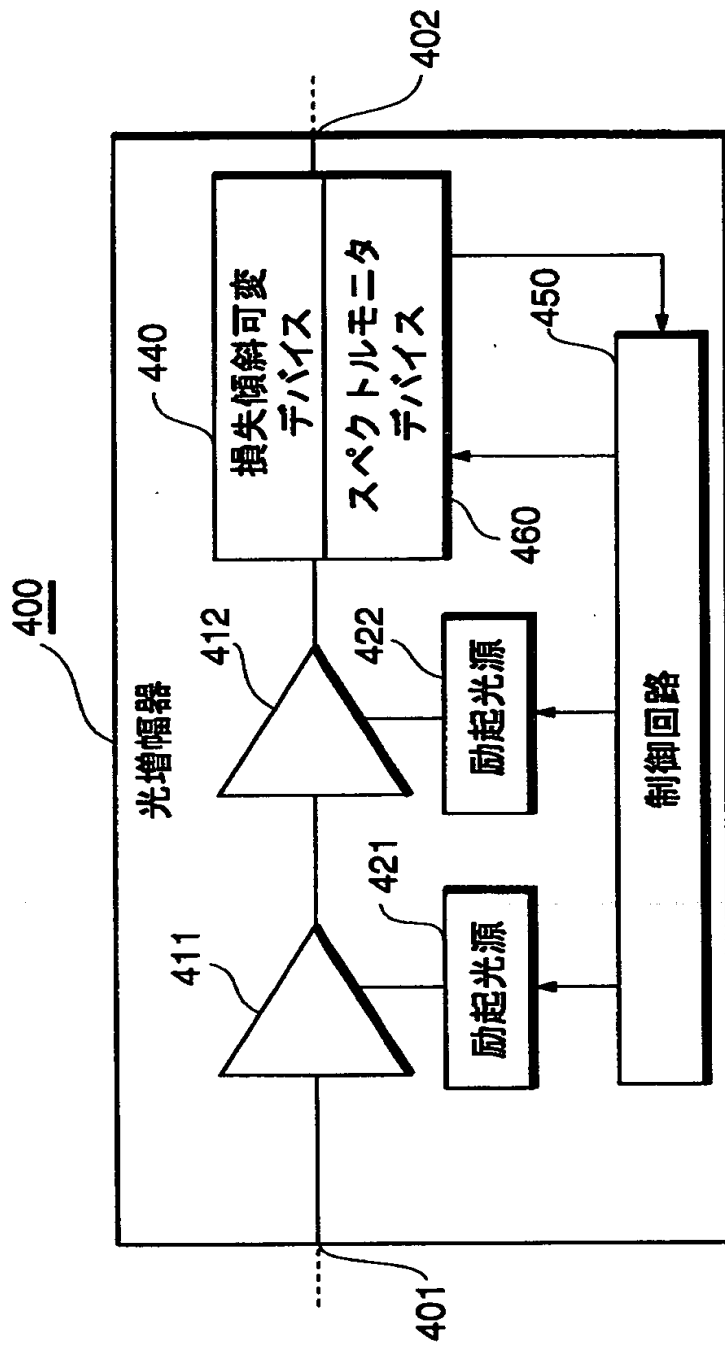
【図 5】



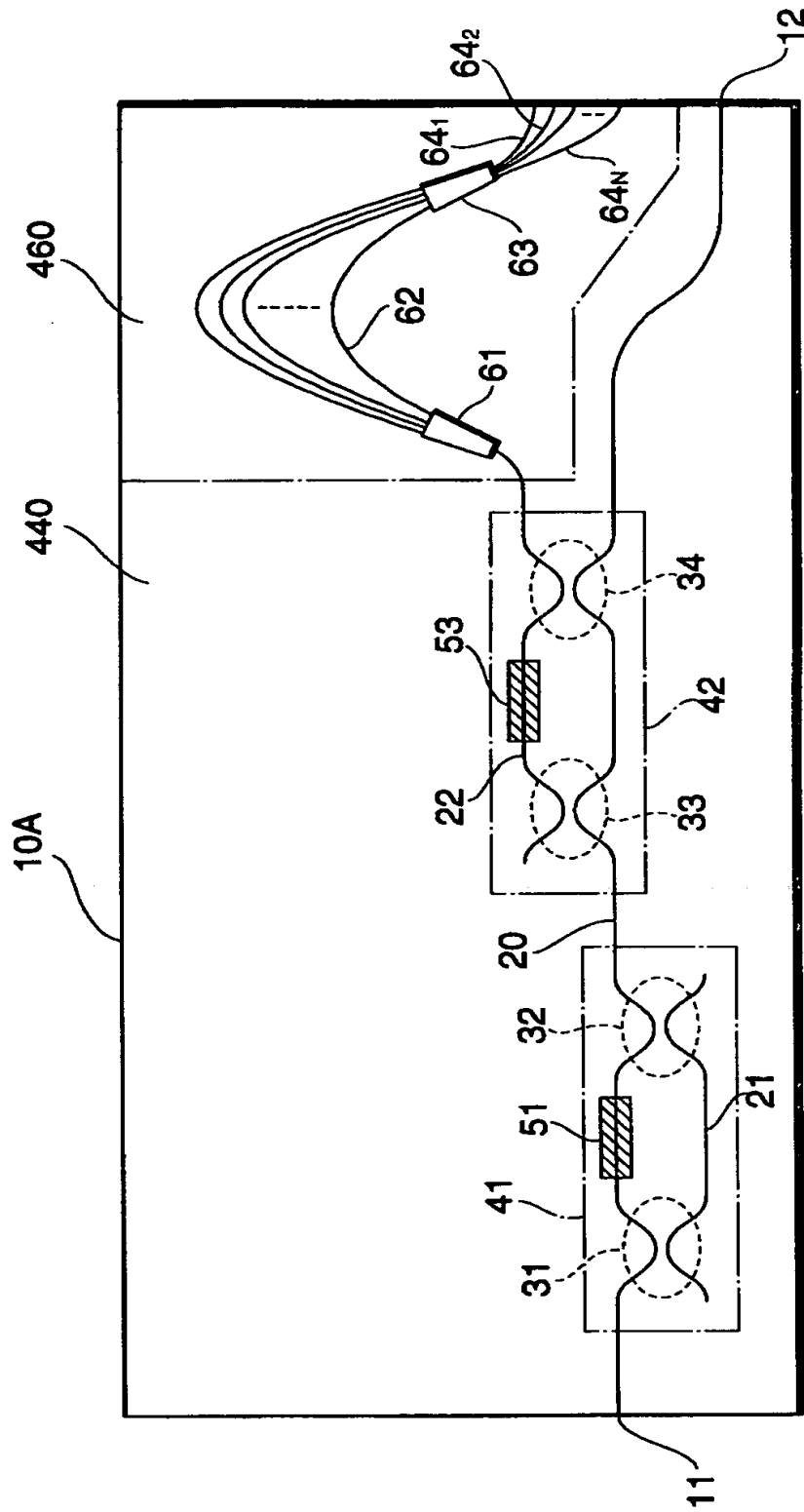
【図 6】



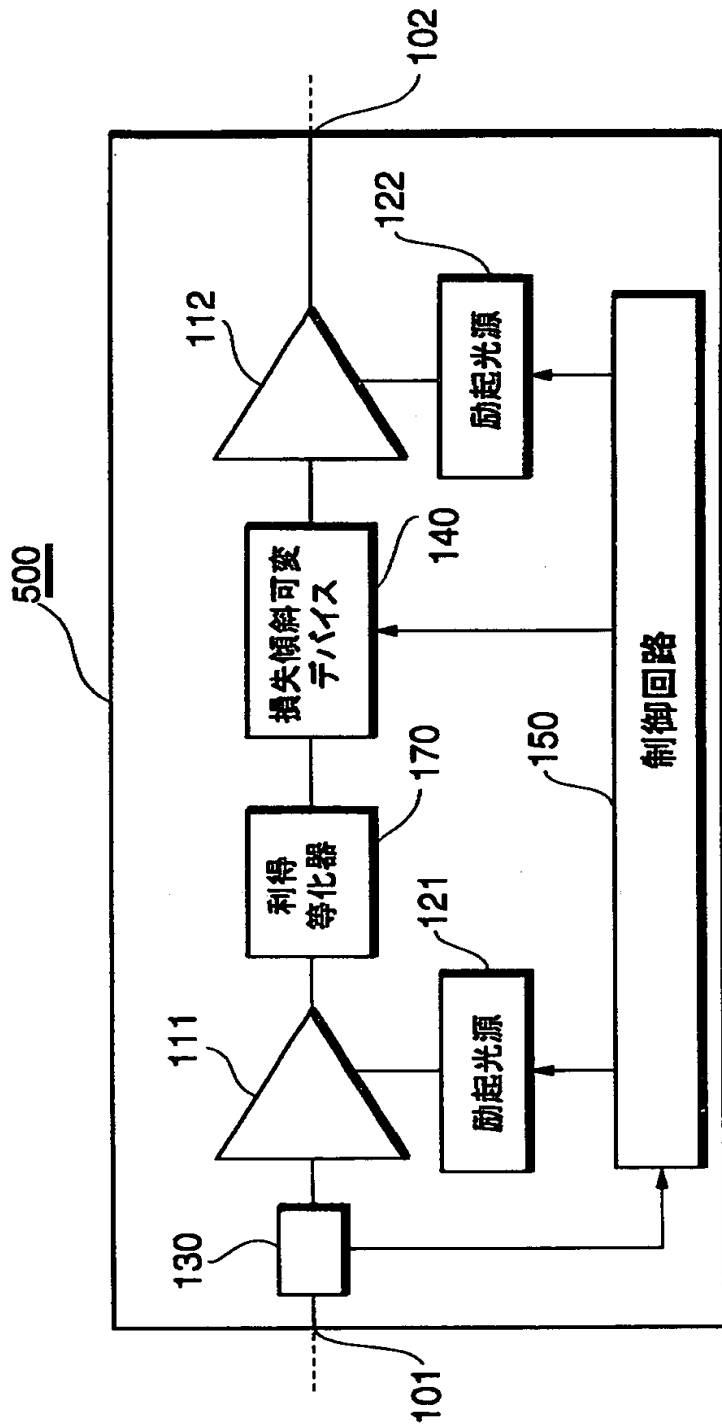
【図 7】



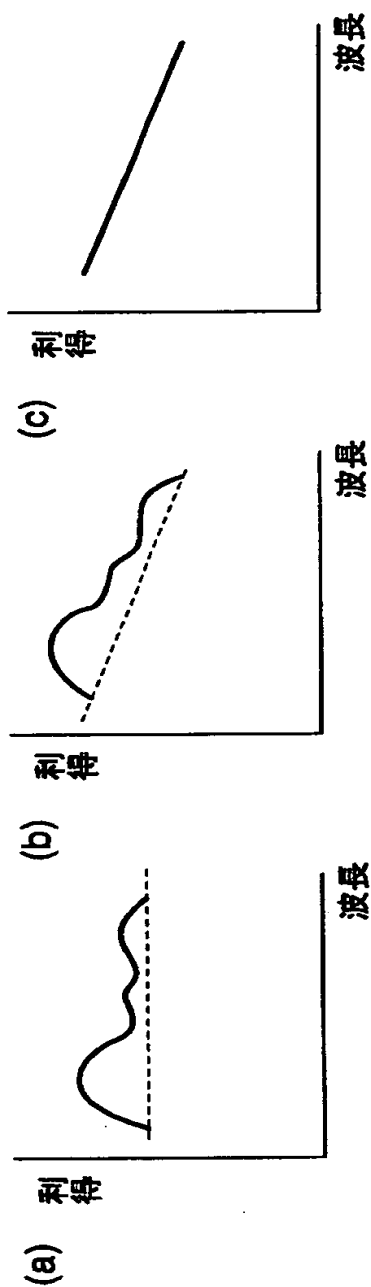
【図 8】



【図 9】



【図 1 0】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 入力信号光パワーが変動しても雑音指数を劣化させることなく出力信号光パワーおよび利得平坦性を維持することができる光増幅器等を提供する。

【解決手段】 損失傾斜可変デバイス 1 4 0 は、信号光の波長帯域中の所定波長において損失が略一定であって、該波長帯域において波長に対する損失の傾斜が可変である損失スペクトルを有している。制御回路 1 5 0 は、光カプラ 1 3 0 により分岐された信号光のパワーを検出し、その入力信号光パワーに基づいて、出力信号光のパワーが一定の目標値になるよう、励起光源 1 2 1, 1 2 2 から光増幅部 1 1 1, 1 1 2 へ供給される励起光のパワーを制御する。また、制御回路 1 5 0 は、その入力信号光パワーに基づいて、損失傾斜可変デバイス 1 4 0 の損失傾斜を制御する。

【選択図】 図 1

【書類名】 手続補正書
【提出日】 平成11年10月 7日
【あて先】 特許庁長官殿
【事件の表示】

【出願番号】 平成11年特許願第196251号
【補正をする者】

【識別番号】 000002130
【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社
【代理人】

【識別番号】 100088155
【弁理士】
【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【手続補正 1】

【補正対象書類名】 特許願
【補正対象項目名】 発明者
【補正方法】 変更

【補正の内容】

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 津崎 哲文

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 西村 正幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 重松 昌行

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内

【氏名】 畑山 均

【その他】 今般、本件に関しまして、住友電気工業株式会社の発明者を一人欠落してしまいました。つきましては、発明者の追加の補正を致しますので、よろしくお願い申し上げます。

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

氏 名 住友電気工業株式会社